

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

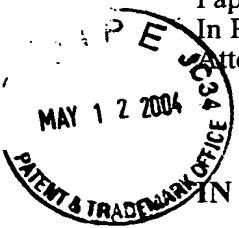
IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

JPW

Application No. 10/758,780
Paper Dated: May 7, 2004
In Reply to USPTO Correspondence of N/A
Attorney Docket No. 4366-040026

Customer No. 28289



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Group Art Unit : 2855
Application No. : 10/758,780
Applicants : **Ohyoung KWON et al.**
Filed : January 15, 2004
Title : **AC TYPE FLOWMETER AND METHOD
OF MAPPING FLOW RATE DATA FOR
THE SAME**

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. §119

MAIL STOP

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Attached hereto is a certified copy of Korean Patent Application No. 10-2003-0060009 which corresponds to the above-identified United States application and which was filed in the Korean Patent Office on August 28, 2003.

The priority benefits provided by Section 119 of the Patent Act of 1952 are claimed for this application.

Respectfully submitted,

WEBB ZIESENHEIM LOGSDON
ORKIN & HANSON, P.C.

By 

Richard L. Byrne, Reg. No. 28,498
Attorney for Applicants
700 Koppers Building
436 Seventh Avenue
Pittsburgh, PA 15219-1818
Telephone: 412/471-8815
Facsimile: 412/471-4094



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

출원번호 : 10-2003-0060009
Application Number

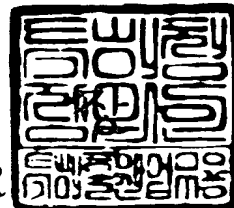
출원년월일 : 2003년 08월 28일
Date of Application AUG 28, 2003

출원인 : 재단법인서울대학교산학협력재단
Applicant(s) Seoul National University Industry Foundation



2004 년 01 월 16 일

특 허 청
COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0003
【제출일자】	2003.08.28
【국제특허분류】	F15D
【발명의 명칭】	교류 방식 유속 측정 장치 및 이에 사용되는 유속 데이터 맵핑 방법
【발명의 영문명칭】	AC TYPE ANEMOMETRY AND METHODS FOR DATA MAPPING OF FLOW RATE FOR THE ANEMOMETRY
【출원인】	
【명칭】	재단법인서울대학교산학협력재단
【출원인코드】	2-2003-007067-6
【대리인】	
【성명】	김환석
【대리인코드】	9-2001-000061-3
【대리인】	
【성명】	박현철
【대리인코드】	9-2001-000050-0
【발명자】	
【성명의 국문표기】	권오명
【성명의 영문표기】	KWON, Ohmyoung
【주민등록번호】	680301-1042718
【우편번호】	158-055
【주소】	서울특별시 양천구 목5동 신시가지 아파트 4단지 402동 1808호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	이준식
【성명의 영문표기】	LEE, Joon Sik
【주민등록번호】	520911-1042115
【우편번호】	158-076
【주소】	서울특별시 양천구 신정6동 웨르빌아파트 C동 1204호
【국적】	KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 최영기
【성명의 영문표기】 CHOI, Young Ki
【주민등록번호】 540117-1068919
【우편번호】 137-040
【주소】 서울특별시 서초구 반포동 1-1 신반포지구 아파트 27동 203호
【국적】 KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 박승호
【성명의 영문표기】 PARK, Seungho
【주민등록번호】 580908-1047756
【우편번호】 158-056
【주소】 서울특별시 양천구 목6동 신시가지 아파트 224동 902호
【국적】 KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 정원석
【성명의 영문표기】 CHUNG, Won Seok
【주민등록번호】 740727-1029811
【우편번호】 122-860
【주소】 서울특별시 은평구 불광3동 312-72
【국적】 KR

【공지예외적용대상증명서류의 내용】

【공개형태】 간행물
【공개일자】 2003.04.23

【공지예외적용대상증명서류의 내용】

【공개형태】 간행물
【공개일자】 2003.07.08

【심사청구】

청구

【취지】

특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의
 한 출원심사 를 청구합니다. 대리인
 김환석 (인) 대리인
 박현철 (인)

102003060009

출력 일자: 2004/1/19

【수수료】

【기본출원료】 20 면 29,000 원

【가산출원료】 16 면 16,000 원

【우선권주장료】 0 건 0 원

【심사청구료】 11 항 461,000 원

【합계】 506,000 원

【감면사유】

【감면후 수수료】 253,000 원

【첨부서류】

1. 요약서·명세서(도면)_1통 2. 공지에외적용대상(신규성상실의예
외, 출원시의특례)규정을 적용받 기 위한 증명서류_1통 3. 전담조
직임을 증명하는 서류_1통 4. 위임장_1통

【요약서】**【요약】**

본 발명은 마이크로 유속 센서로 적합한 유속 측정 장치에 관한 것이다. 본 발명의 유속 측정 장치는 유동 내에 삽입되는 저항 발열체, 상기 저항 발열체를 주기적으로 가열하기 위해 상기 저항 발열체에 공급되는 제1 주파수의 교류 전원, 상기 교류 전원에 의해 상기 저항 발열체에서 일어나는 온도 변화와 관련되어 상기 저항 발열체에서 발생하는 제1 신호를 검출하여, 상기 교류 전원 전압에 대한 상기 제1 신호의 위상 지연을 구하는 신호 처리 수단 및 상기 위상 지연으로부터 상기 유동의 속도를 계산하는 연산 수단을 포함한다. 본 발명에 따르면, 간단한 구조로 넓은 측정 범위와 높은 측정 정밀도를 갖는 유속 측정 장치의 제공이 가능하다.

【대표도】

도 2

【색인어】교류 전원, 유속, 온도 교류 성분, 3ω 진폭, 위상 지연

【명세서】**【발명의 명칭】**

교류 방식 유속 측정 장치 및 이에 사용되는 유속 데이터 맵핑 방법{AC TYPE ANEMOMETRY AND METHODS FOR DATA MAPPING OF FLOW RATE FOR THE ANEMOMETRY}

【도면의 간단한 설명】

도 1a 및 도 1b는 본 발명의 유속 측정 원리를 설명하기 위한 개략도이다.

도 2는 본 발명에 사용된 유속 측정 장치의 구성을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 3은 열선에 발생하는 위상 지연을 갖는 신호들을 정성적으로 보여주기 위한 모형 회로로서, ω 의 주파수를 갖는 교류 전원에 연결된 열선을 포함하는 회로도이다.

도 4a 및 도 4b는 본 발명에서 위상 지연과 유속을 맵핑하기 위해 사용한 장치의 개략도 및 도 4a의 장치를 통해 위상 지연과 유속을 맵핑하는 방법을 도시한 절차도이다.

도 5는 전술한 도 4a의 장치를 이용하여 에탄올을 유체로 시간의 경과에 따라 측정된 3ω 전압 신호의 위상 지연 변화를 나타낸 그래프이다.

도 6a는 교류 전원의 주파수 변화에 따른 3ω 전압의 위상 지연의 변화를 도시한 그래프이다.

도 6b는 도 6a와 교류 전원의 전압을 달리하여 동일한 조건으로 주파수에 따른 위상 지연의 변화를 도시한 그래프이다.

도 7a 및 도 7b는 각각 도 6a 및 도 6b와 동일한 조건에서 무차원화된 3ω 전압의 진폭을 도시한 그래프이다.

도 8a는 도 6b에 도시된 점선을 따라 유속의 증가에 따른 위상 지연의 변화를 평균 유속에 따라 맵핑한 그래프이다.

도 8b는 도 8a에 도시된 B 부분을 확대 도시한 그래프이다.

<도면의 부호에 대한 간단한 설명>

100 : 유속 측정 장치 110 : 교류 전원

112 : 교류 공급 도선 120 : 저항 발열체

130 : 유동 140 : 신호 처리 수단

150 : 연산 수단 152 : 마이크로 프로세서

154 : 기억 수단 162 : 가변 저항

164, 166 : 차동 증폭기 220 : 열선

240 : 록인 증폭기 260 : 저울

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<19> 본 발명은 유동의 유속을 측정하는 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 마이크로 유속 센서로 적합한 유속 측정 장치에 관한 것이다.

<20> 마이크로 시스템에서의 정확한 유속 측정은 화학 성분 분석 과정, 의약품 투약, 반도체 제조 공정 등의 다양한 분야에서 매우 중요한 비중을 차지하고 있다.

마이크로 유속센서는 매우 제한된 공간에 설치되어야 하고, 센서의 제작 과정이 마이크로 시스템의 제작 공정에 쉽게 통합될 수 있어야 하므로 그 구조가 매우 간단해야 한다. 또한, 마이크로 유속 센서는 매우 높은 측정 정밀도를 가져야 하는데, 이것은 마이크로 채널 내부의 유동 속도가 매크로 스케일의 유동에 비해서 매우 느리기 때문이다. 최근 20여 년 동안 마이크로 가공 기술을 이용하여, 다양한 마이크로 유속센서들이 개발되어 왔지만, 이 조건들을 동시에 만족시키는 센서를 찾기는 힘든 실정이다.

<21> 종래의 유속 측정 센서들은 작동 원리에 따라 크게 기계적 유동 센서(mechanical flow sensor, non-thermal flow sensor)와 열적 유동 센서(thermal flow sensor)로 나눌 수 있다. 기계적 유동 센서는 유동에 의해 발생하는 압력 강하, 항력(drag force) 또는 전향력(Coriolis force) 등을 유속 측정에 이용하는 것으로서, 에너지 소모가 적고 유체가 가열되지 않는 장점이 있으나, 구조가 복잡하여 마이크로 밸브나 펌프 등과 함께 전체 시스템에 통합되기가 어렵다는 단점이 있다. 이에 반해 열적 유동 센서는 구조가 단순하고 전기적으로 간단하기 때문에 마이크로 시스템 분야에서 기계적 유동 센서에 비해 보다 선호되고 있다.

<22> 열적 유동 센서들은 발열체와 유체 사이에서 일어나는 열전달 과정을 이용하여 유속을 측정하게 되는데, 종래의 센서들은 가열된 센서에 공급되는 열량의 변화나 저항의 변화를 측정하는 열선/박막 방식(hotwire/film type), 열원 주위 온도의 비대칭성을 측정하는 열량측정 방식(calorimetric type), 열 맥동(heat pulse)이 일정 거리를 지나가는 데 걸리는 시간을 측정하는 이동시간측정 방식(time-of-flight type) 등으로 나눌 수 있다.

<23> 이러한 열적 유동센서들은, 앞에서 언급한대로 구조가 간단하다는 장점 외에도 열선/박막 방식의 경우엔 센서의 반응속도가 빠르고 감도가 좋으며 히터와 센서가 동일하다는 장점이 있고, 열량측정 방식은 히터의 상하류에 센서가 위치해 있기 때문에 유동의 방향을 알 수 있다

는 장점이 있다. 하지만, 측정의 정밀도를 높이기 위해 열원이 고온에서 유지되어야 하므로, 센서 주위의 유체가 가열되는 문제가 있고, 센서가 주위 유체 온도 변화에 민감하기 때문에 유체의 온도를 정확히 제어하거나 온도 변화를 보상해 주어야 한다는 단점이 있다. 또한 열량 측정 방식의 경우, 측정 범위에 제한이 있으며, 이동 시간 측정 방식의 경우 열확산으로 인해 저속의 유동 측정에는 부적합하다는 문제점을 가지고 있다.

<24> 이러한 문제들을 해결하기 위해, 센서에 맥동의 형태로 직류 전압을 공급하여 열적 표류 현상(thermal drift)를 최소화하려 하려는 시도와, 측정회로에 보정 저항(compensation resistor)을 삽입하여 주위 유체 온도의 영향을 보정하려는 연구가 수행되었고, 센서 밑 부분에 박막층을 더하거나, 유속의 범위에 따라 두 가지의 측정 방식을 따로 적용함으로써 제한된 유속 측정 범위를 확장시키기 위한 노력들도 이루어졌다. 이러한 연구들의 결과로 기존 센서들의 단점을 어느 정도 보완할 수는 있었지만, 센서나 측정 회로의 구조가 복잡해지는 것을 피할 수는 없었다.

<25> 한편 베도(Bedo) 등은 "AC 측정법을 이용하는 가스 및 유체의 실리콘 유동 센서"라는 제하의 논문(센서 및 액츄에이터 학회지 볼륨 85, 124-132페이지)에서 교류 전원을 이용하여 열원을 가열하고 열원의 상하류 양쪽에 있는 센서에서 신호를 측정함으로써 유속을 측정하는 방식을 제시한 바 있다. 이 방법은 유속 변화에 대한 센서의 반응도가 향상되고, 주위 유체 온도의 변화에 영향을 덜 받게 되는 장점을 가지지만, 센서와 열원이 분리되어 있기 때문에 열파(heat wave)가 유동을 통해 열원에서부터 센서까지 전파되는 동안 열확산 현상과 열파의 감쇠 현상이 일어나므로 센서를 매우 높은 온도로 가열해야 하는 단점이 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<26> 본 발명은 간단한 구조로 넓은 측정 범위와 높은 측정 정밀도를 갖는 새로운 유속 측정 장치 및 상기 유속 측정 장치에서 사용되는 유속 데이터의 맵핑 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

【발명의 구성 및 작용】

<27> 상기 기술적 과제를 달성하기 위해 본 발명은 유동 내에 삽입되는 저항 발열체, 상기 저항 발열체를 주기적으로 가열하기 위해 상기 저항 발열체에 공급되는 제1 주파수의 교류 전원, 상기 교류 전원에 의해 상기 저항 발열체에서 일어나는 온도 변화와 관련되어 상기 저항 발열체에서 발생하는 제1 신호를 검출하여, 상기 교류 전원 전압에 대한 상기 제1 신호의 위상 지연을 구하는 신호 처리 수단 및 상기 위상 지연으로부터 상기 유동의 속도를 계산하는 연산 수단을 포함하는 유속 측정 장치를 제공한다.

<28> 본 발명에서 상기 유속 측정 장치는 상기 발열체 양단의 전압 신호를 검출하기 위한 제1 검출 수단을 더 포함할 수 있으며, 상기 신호 처리 수단은 상기 제1 검출 수단의 출력 신호로부터 상기 제1 신호를 검출한다.

<29> 본 발명에서 상기 유속 측정 장치는 상기 교류 전원의 공급 선로상에 배치되어 상기 저항 발열체의 저항과 동일하도록 설정되는 가변 저항 및 상기 가변 저항 양단의 전압 신호를 검출하기 위한 제2 검출 수단을 더 포함할 수 있으며, 상기 신호 처리 수단은 상기 제1 검출 수단의 출력 신호에 상기 제2 검출 수단의 출력 신호를 차감한 신호로부터 상기 제1 신호를 검출할 수 있다.

- <30> 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 제1 신호는 제2 주파수를 갖고 상기 제2 주파수는 상기 교류 전원의 상기 제1 주파수의 2배 또는 3배수일 수 있다.
- <31> 본 발명에서 상기 저항 발열체는 금속 또는 반도체 소자에 의해 구현될 수 있다.
- <32> 본 발명에서 상기 연산 수단은 상기 제1 신호와 상기 교류 전원 간의 위상 지연 데이터와 상기 위상 지연에 대응하는 유속 데이터가 맵핑되어 저장되는 기억 수단 및 상기 신호 처리 수단에서 구해진 위상 지연으로부터 상기 기억 수단에 저장된 위상 지연 및 유속과의 대응 관계에 기초하여 상기 유동의 유속을 계산하는 마이크로 프로세서를 포함한다. 본 발명에서 상기 마이크로 프로세서는 상기 교류 전원의 주파수를 제어할 수 있다.
- <33> 또한, 상기 기술적 과제를 달성하기 위해 본 발명은 (a) 소정 유속의 유동내에 저항 발열체를 제공하는 단계, (b) 상기 저항 발열체에 제1 주파수의 교류 전원을 공급하는 단계, (c) 상기 교류 전원에 의해 상기 저항 발열체에서 일어나는 온도 변화와 관련하여 상기 저항 발열체에서 발생하는 제1 신호를 검출하는 단계, (d) 상기 교류 전원에 대한 상기 제1 신호의 위상 지연을 구하는 단계, (e) 상기 유동의 유속을 측정하는 단계, (f) 유동의 유속을 변화시키는 단계, (g) 상기 단계 (b) 내지 단계 (e)를 복수회 반복하는 단계 및 (h) 측정된 유동의 유속과 상기 제1 신호의 위상 지연을 맵핑하는 단계를 포함하는 위상 지연과 유속 맵핑 방법을 제공한다.
- <34> 본 발명의 유속 맵핑 방법은 상기 단계 (b) 내지 단계 (g)는 여러 주파수에 대해 반복 수행될 수 있다. 본 발명의 방법을 통해 검출되는 상기 제1 신호는 제2 주파수를 가지며, 상기 제2 주파수는 상기 제1 주파수의 3배수일 수 있다.
- <35> 이하 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써 본 발명을 상술한다.

<36> 본 발명의 유속 측정 원리

<37> 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 유속 측정 원리를 설명하기 위한 개략도이다. 도 1a에 도시된 바와 같이, 교류 전원(10)이 공급되는 열선(20)과 같은 저항 발열체가 유동(30) 내에 놓이게 되면, 상기 열선(20)에 공급되는 주기적인 교류 전원(10)에 의해 상기 열선(20)은 주기적으로 열을 발생하게 된다.

<38> 이 때, 열선(20)에서 발생하는 단위시간당 열량은 도 1b에서 점선으로 도시된 파형(H)을 나타내게 된다. 이 파형(H)은 인가되는 교류 전원(10)의 파형에 의존한다. 반면, 열선(20)의 온도는 열량의 주기적인 변화에 대해 일정한 위상 지연(ϕ_p)을 가지고 변화한다. 도 1b의 실선으로 도시된 파형은 열선의 온도 변화를 나타내고 있다. 도시된 바와 같이, 열량의 주기적 변화와 열선 온도의 주기적 변화 사이에는 위상 지연이 존재하는데, 이것은 열선에서 발생하는 열량이 유동으로 전달되는 정도, 즉 열선의 대류 열전달 계수가 유동의 속도에 밀접한 관련을 가지고 있기 때문이다. 따라서 유동의 속도에 따라 지연된 위상의 크기는 변화하게 된다.

<39> 본 발명자들은 상기 위상 지연(ϕ_p)과 유동의 속도 간에 일대일의 대응 관계가 성립한다는 사실을 발견하였다. 이에 따라 미리 맵핑된 위상 지연과 유속의 대응 관계를 기초로 한 유속 측정 장치를 제공하고자 한다.

<40> 본 발명의 유속 측정 장치

<41> 도 2는 본 발명에 사용된 유속 측정 장치(100)의 구성을 개략적으로 도시한 도면이다.

- <42> 도 2를 참조하면, 본 발명의 유속 측정 장치(100)는 저항 발열체(120), 교류 전원(110), 차동 증폭기(166)와 같은 제1 검출 수단, 신호 처리 수단(140) 및 연산 수단(150)을 포함하여 구성된다.
- <43> 상기 저항 발열체(120)는 유동(130)이 흐르고 있는 관로(132) 내에 삽입 장착되어 있다. 상기 저항 발열체(120)에는 교류 전원(110)으로부터 일정한 주파수의 교류 전압이 인가된다.
- <44> 상기 저항 발열체(120)는 공급되는 교류 전원(110)의 주파수에 따라 주기적으로 발열한다. 본 발명에서 상기 저항 발열체(120)로는 전원의 인가시 저항으로 작용하여 발열하는 임의의 재질이 사용될 수 있다. 예컨대, 텅스텐, 몰리브덴 등의 금속 재질뿐만 아니라 그래파이트를 포함하는 세라믹 발열체 또는 도핑된 폴리실리콘 등의 반도체 재질이 사용될 수도 있다. 또한 본 발명의 저항 발열체(120)는 특정한 형태로 구현되어야 할 필요는 없으며, 선(wire) 또는 박막과 같은 다양한 형태로 구현될 수 있다.
- <45> 상기 신호 처리 수단(140)은 교류 전원(110)의 인가에 의해 상기 저항 발열체(120)에 발생하는 온도 변화와 관련된 신호를 검출하고, 검출된 신호와 교류 전원(110)의 위상을 비교하여 위상 지연을 측정한다.
- <46> 본 발명에서 상기 저항 발열체(120)에서 발생하는 온도 변화와 관련된 신호는 상기 저항 발열체(120)의 양단에 연결된 차동 증폭기(166)와 같은 제1 검출 수단을 통해 검출되어, 상기 신호 처리 수단(140)으로 입력된다. 본 발명에서 검출하고자 하는 온도 변화와 관련된 신호에 대해서는 별도로 후술한다.
- <47> 한편, 본 발명의 유속 측정 장치(100)는 상기 저항 발열체(120)에서 검출된 신호에서 상기 저항 발열체(120)에 공급되는 교류 전원 신호를 제거하기 위한 추가의 구성을 취할 수

있다. 이를 위해, 도시된 바와 같이, 상기 교류 전원(110) 공급 선로(112)상에 배치된 저항(162)과 상기 저항의 양단에 연결된 차동 증폭기(164)와 같은 제2 검출 수단을 추가로 구비할 수 있다. 이 구성에서 상기 저항(162)은 상기 저항 발열체(120)의 저항과 동일하게 설정될 수 있어야 하며, 따라서 가변 저항에 의해 구현되는 것이 바람직하다. 저항 발열체(120) 및 저항(162)의 저항값을 동일하게 설정함으로써, 저항(162)의 양단에 걸리는 전압 신호는 상기 저항 발열체(120)의 양단에 걸리는 교류 전원에 의한 전압 신호와 동일하게 된다. 따라서 제1 검출 수단의 출력 신호에서 제2 검출 수단(162, 164)의 출력 신호를 차감함으로써, 상기 저항 발열체(120)에 전원에 가해지는 교류 전원 신호를 제거할 수 있다.

<48> 신호 처리 수단(140)은 상기 저항 발열체에 가해지는 상기 교류 전원(110) 신호를 기준 신호로 하여 상기 제1 검출 수단(166)의 출력 신호 중 상기 저항 발열체의 온도 변화와 관련된 신호의 위상 지연을 계산한다. 이 때, 상기 제1 검출 수단의 출력 신호에서 상기 제2 검출 수단(162, 164)의 출력 신호를 차감하여 제거함으로써 원하는 신호를 보다 정밀하게 검출할 수 있음은 전술한 바와 같다. 상기 신호 처리 수단(140)은 입력 신호 중 특정한 신호의 진폭 및 위상을 측정할 수 있는 통상의 록인 증폭기(Lock-in amplifier)와 같은 장치에 의해 구현될 수 있으며, 이 장치의 구성은 이 분야의 당업자에게 널리 알려져 있으며, 여기서는 설명을 생략한다.

<49> 상기 신호 처리 수단(140)에 의해 검출되는 온도 변화와 관련된 신호는 상기 교류 전원에 대한 온도 변화 파형과 동일한 위상 지연 또는 이에 대응하는 위상 지연을 갖는 신호이며, 예컨대 상기 교류 전원 주파수(ω)의 2배수(2ω) 또는 3배수(3ω)의 주파수를 갖는 신호일 수 있다. 이에 대해서는 후술한다.

- <50> 상기 연산 수단(150)은 마이크로 프로세서(152) 및 메모리(154)를 포함하여 구성될 수 있다. 상기 연산 수단은 상기 신호 처리 수단(140)에 의해 검출된 위상 지연으로부터 유속을 계산한다.
- <51> 상기 메모리(154)에는 상기 마이크로 프로세서가 유속의 계산에 참조할 수 있도록 맵핑된 위상 지연 및 유속 데이터 집합이 저장되어 있다. 상기 마이크로 프로세서(152)는 상기 신호 처리 수단(140)에서 측정된 위상 지연에 대응하는 유속을 상기 메모리(154)에 저장되어 있는 위상 지연과 유속의 대응 관계에 기초하여 구한다.
- <52> 상기 연산 수단(150)은 마이크로 프로세서(152)의 제어에 의해 상기 열선에 가해질 교류 전원(110)의 주파수 및 전압을 제어할 수 있다. 이것은 측정할 유속에 적합한 주파수를 교류 전원으로 공급하여 보다 정밀한 위상 지연값의 측정을 가능하게 한다.
- <53> 저항 발열체의 온도 위상과 관련된 신호들
- <54> 앞서 저항 발열체의 온도 변화 파형이 교류 전원 및 열발생률에 대해 일정한 위상 지연을 나타내며, 이에 관련된 신호로부터 위상 지연을 측정할 수 있다는 점을 설명하였다. 이하에서는 구체적으로 어떠한 신호들이 본 발명의 온도 변화와 관련된 신호인지에 대해 설명한다.
- <55> ω 의 주파수를 갖는 교류 전원에 연결된 열선을 포함하는 회로는 도 3과 같이 단순화하여 표현할 수 있다. 여기서, R_S 는 회로에 연결된 부가 저항이다.
- <56> 열선의 저항 R_h 가 부가저항 R_S 보다 훨씬 작은 경우, 열선의 온도 변화에 의한 저항의 변화가 회로에 흐르는 전류에 미치는 영향이 작으므로 전류가 일정하다고 가정하면 아래와 같은 식이 성립한다.

<57>

$$I = \frac{V_0}{R_s + R_h} \sin \omega t \approx I_0 \sin \omega t (R_s \gg R_h)$$

【수학식 1】

<58> 따라서, 반경 r 이고 길이 l 인 열선의 자체 저항에 의해 발생하는 단위 부피 당 열발생률은 다음의 수식에 의해 표현될 수 있다.

<59>

$$\dot{q} = \frac{I_0^2 \gamma}{2\pi^2 r^4} \left[1 + \sin \left(2\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \right]$$

【수학식 2】

<60> 여기서 γ 는 열선의 비저항이다. 상기 수학식 2로부터 열 발생량은 2ω 의 주파수를 가지고 진동하고 있음을 알 수 있다.

<61> 한편, 유동 속에 놓여있는 열선의 온도를 해석할 때, 열선의 직경이 매우 작으므로 열선의 온도가 열선 전체에 걸쳐 균일하다고 가정하면 아래와 같은 에너지 평형식이 성립한다.

<62>

$$\rho c_p \pi r^2 \frac{\partial \theta}{\partial t} = \pi r^2 \dot{q} - h 2\pi r \theta$$

【수학식 3】

<63> 여기서 ρ 는 열선의 밀도, c_p 는 열선의 비열, h 는 대류 열전달 계수이며, θ 는 열선의 온도와 주위 유체 온도 사이의 차이($T_h - T_f$)이다. 상기 수학식 3의 해는 다음의 수식으로 표현될 수 있다.

<64>

$$\theta = C e^{-\frac{2h}{\rho c_p r} t} + \frac{\dot{q}_0 r}{2h} + \frac{r \dot{q}_0}{2\sqrt{h^2 + (\rho c_p r \omega)^2}} \sin \left(2\omega t - \frac{\pi}{2} + \phi \right)$$

【수학식 4】

<65> 여기서 C 는 적분 상수이며, 열선이 가열되기 전의 초기 온도 조건에서 구해진다. 수학식 4에서 우변의 첫 번째 항은 시간이 지남에 따라 사라지는 감쇠 성분, 두 번째 항은 시간의 변화에 무

관하게 일정한 값을 가지는 직류 성분, 세 번째 항은 시간에 따라 진동하는 교류 성분을 나타낸다. 세 번째 항의 온도 교류 성분은 열선의 열발생률에 대해 ϕ 의 위상 지연을 가지고 있으며, 이것은 다음의 수식에 의해 표현될 수 있다.

<66>

$$\tan \phi = -\frac{\rho c_p r \omega}{h}$$

【수학식 5】

<67> 상기 수학식 5로부터 위상 지연이 교류 전원의 주파수와 열선에서의 대류열전달계수의 함수임을 알 수 있다.

<68> 일반적으로 도체의 전기 저항은 온도의 함수이므로, 열선의 온도 변화에 따라 열선의 저항도 온도와 같은 주파수 및 위상 지연을 가지고 변하게 된다. 이 때, ω 의 주파수로 열선에 공급되는 전류와 2ω 의 주파수로 변하는 열선의 저항에 의해 열선에는 3ω 의 주파수로 진동하는 교류 전압이 발생하며, 아래와 같은 수식에 의해 표현될 수 있다.

<69>

$$V_{3\omega} = \frac{I_0 R_{h,b} \alpha \theta_{AC,0}}{2} \sin(3\omega t - \pi + \phi)$$

【수학식 6】

<70> 상기 수학식 6으로부터 열선에서 3ω 의 주파수와 ϕ 의 위상 지연을 갖는 전압 신호가 발생함을 알 수 있다.

<71> 한편, 상기 수학식 6으로부터는 전류의 진폭 I_0 , 상온에서의 열선 저항 ($R_{h,b}$), 열선의 온도 저항 계수(α), 및 3ω 전압 주파수로부터 열선의 교류 성분의 온도 진폭($\theta_{AC,0}$)을 구할 수 있다.

<72> 이상의 주기적 정상상태 전열 해석(steady periodic electro-thermal analysis)을 통해 ω 의 주파수를 가지는 교류 전압이 가해진 경우에 전류, 열발생량, 온도 및 3ω 주파수 전압의 주파수, 진폭 및 위상 지연을 구할 수 있었고, 이를 아래 표 1에 정리하였다.

<73> 【표 1】

구분	주파수	진폭	위상 지연
전원 전압	ω	V_0	-
전류	ω	$\frac{V_0}{R_s + R_h} \equiv I_0$	0
단위시간 단위부피당 열발생량	2ω	$\frac{I_0^2 \gamma}{2\pi^2 r^4} \equiv \dot{q}_0$	$-\frac{\pi}{2}$
온도 교류 성분	2ω	$\frac{r\dot{q}_0}{2\sqrt{h^2 + (\rho c_p r \omega)^2}} \equiv \theta_{AC,0}$	$\phi - \frac{\pi}{2}$
3ω 전압	3ω	$\frac{I_0^3 \alpha \gamma_0 \gamma l}{8\pi^3 r^5 \sqrt{h^2 + (\rho c_p r \omega)^2}} = \left(\frac{I_0 R_{h,b} \alpha}{2} \right) \theta_{AC,0}$	$\phi - \pi$

<74> 이상 살펴본 바와 같이, 열선에 교류 전원을 인가할 때, 2ω 의 주파수를 갖는 온도 교류 성분 및 3ω 의 주파수를 갖는 3ω 전압은 교류 전원에 대해 일정한 위상 지연을 가지게 된다. 따라서, 이들 온도 교류 성분과 관련된 신호 또는 3ω 전압을 측정하여 위상 지연을 알아낼 수 있다.

<75> 물론, 전술한 수학적식들을 통해 열거한 신호들은 본 발명에서 측정 가능한 신호들의 예시일 뿐이며, 본 발명의 기술적 사상에 따라 열선의 온도가 나타내는 위상 지연을 반영하고 있는 어떠한 신호라도 본 발명에서 측정 대상 신호가 될 수 있다.

<76> 유속 맵핑 방법

<77> 도 4a는 본 발명의 유속 측정 장치에 사용되는 위상 지연-유속 데이터를 맵핑하기 위한 실험 장치를 도시한 도면이다.

- <78> 저장조(270)내에 저장되어 있는 유체(271)를 폴리우레탄 튜브(230)와 같은 관로로 일정 속도로 유입하고 상기 튜브의 일단에 있는 저울(260)과 같은 계량 수단에 의해 계량하여 유속을 측정한다. 저장조(270)의 유입구(274)에 공급되는 압축 공기에 의해 상기 폴리우레탄 튜브(230)로 유체(271)가 공급되며, 압축 공기의 공급 유량은 미터링 밸브(272)에 의해 조절된다. 유속의 변화는 상기 미터링 밸브(272)로 압축 공기의 유량을 변화시킴으로써 조절할 수 있다.
- <79> 상기 폴리우레탄 튜브(230)에는 유속 측정을 위한 센서로서 텅스텐 열선(220)이 설치된다. 이 열선 설치부(A) 단면의 확대도가 별도로 도 3a에 도시되어 있다. 도시된 바와 같이, 상기 튜브는 내경이 약 4mm이며, 튜브 내에 삽입된 텅스텐 열선(220)은 직경이 5 μ m이고 길이가 1mm이다.
- <80> 다시 도 4a를 참조하면, 상기 텅스텐 열선(220)의 양단에는 록인 증폭기(240)의 전원 출력(214)을 통해 교류 전원을 공급하기 위한 도선(212)이 연결되어 있다. 상기 록인 증폭기는 신호 입력 채널(216, 218)을 통해 상기 열선에서 발생하는 신호 중 원하는 신호, 예컨대 2ω 또는 3ω 의 주파수를 갖는 신호를 입력 받아 그 신호의 진폭 및 위상을 계산한다.
- <81> 이를 위해, 상기 공급 도선(212)에는 열선에서 발생하는 신호를 수신하기 위해 상기 열선의 양단에 병렬 연결된 차동 증폭기(266)가 구비되어 있다. 또한, 상기 공급 도선(212)에는 상기 열선에서 발생하는 신호 중 교류 전원에 의한 영향을 배제하기 위해 상기 열선(230)과 동일 저항을 갖도록 조정된 가변 저항(262)과 상기 가변 저항의 양단에 병렬 연결된 차동 증폭기(264)를 구비하고 있다.
- <82> 상기 록인 증폭기(240)는 입력 신호 채널들(216, 218)을 통해 상기 차동 증폭기들(266 및 264)의 출력 신호를 입력받아 차동 증폭기(266)의 출력에서 차동 증폭기(264)의 출력을 차감한 뒤, 원하는 신호의 진폭 및 위상을 측정한다. 상기 차감 동작을 통해 주파수 ω 인 전원

신호뿐만 아니라 상기 전원 신호에 포함된 노이즈를 동시에 제거할 수 있다. 이러한 기능을 수행하는 록인 증폭기의 구성 및 동작에 대해서는 이 분야의 당업자에게 널리 알려져 있으므로 여기서는 구체적인 설명을 생략한다.

- <83> 한편, 상기 실험 장치에는 공급 도선(212)를 통해 흐르는 전류량을 측정하기 위해 전류계(280)가 추가로 구비되어 있다. 상기 전류계(280)는 열선에 흐르는 교류 전류의 진폭을 측정하여 교류 성분 온도 진폭을 구하는 데 사용된다.
- <84> 이하, 본 발명의 맵핑 과정을 도 4b를 참조하여 설명한다.
- <85> 먼저, 도 4a와 같이 저항 발열체를 유체가 흐르는 폴리우레탄 튜브내에 설치하고(S210), 측정하고자 하는 유체를 일정 속도로 상기 튜브내로 흘린다. 이어서, 상기 저항 발열체에 일정 주파수의 교류 전원을 공급한다(S220). 공급된 교류 전원으로 상기 발열체를 가열하고 소정의 안정화 시간을 거친 후, 상기 열선의 양단에서 발생하는 열선의 온도 변화와 관련된 신호, 예컨대 3ω 전압을 검출한다(S230). 상기 신호는 전술한 바와 같이, 교류 입력 전원에 대해 일정한 위상 지연을 갖는 신호를 포함하고 있다. 록인 증폭기(240)와 같은 신호 처리 수단을 통해, 상기 저항 발열체에 인가되는 교류 전원을 기준 신호로 하여 원하는 신호의 위상 지연을 측정할 수 있다(S240). 이어서, 저울로 상기 튜브를 통과하는 유동의 평균 유속을 측정한다(S250). 전술한 단계 S220 내지 단계 S250을 통해 하나의 유속값에 대해 위상 지연값을 찍지을 수 있다. 유동의 유속을 변화시켜(S260) 전술한 단계 S220 내지 S250을 반복 수행함으로써 유속에 따라 열선에서 발생하는 신호의 위상 지연값을 맵핑할 수 있다.
- <86> 본 발명에 따르면, 유속에 따른 위상 지연의 변화량은 교류 전원의 주파수(ω)에 따라 변화한다. 따라서 유속에 대해 위상 지연을 맵핑하는 작업은 주파수별로 수행될 수 있다.

<87> 이와 같은 주파수별 유속 맵핑 작업을 거쳐 얻어진 위상 지연-유속 데이터는 유속 구간에 따라 유속 측정 감도가 가장 높은 주파수를 택하여 유속을 측정할 수 있다는 장점을 가진다.

<88> 유속 맵핑 실험예

<89> 도 5는 전술한 도 4a의 장치로 에탄올을 유체로 사용하여 시간의 경과에 따라 측정된 3 ω 전압 신호의 위상 지연의 변화를 나타낸 그래프이다. 본 실험에서 위상 지연은 교류 전압의 3배수의 주파수 신호를 기준으로 하여 측정된 값(즉, 표 1의 ϕ)이다. 측정된 유속 구간은 0.0mm/s ~ 9.9mm/s이었다. 이 실험에서 교류 전원의 주파수는 10Hz이고, 열선에 가해진 교류 전압은 135mV였고, 전류계에서 측정된 전류값과 수학적 식 6을 기초로 계산된 교류 성분의 온도 진폭($\theta_{AC,0}$)은 평균 유속 0.0mm/s에서 약 3℃였다.

<90> 도시된 바와 같이, 각 유속에서 위상 지연은 초기에 증가하다가 약 80초 정도의 시간이 경과한 후에 수렴하여 일정한 값을 가지게 된다.

<91> 또한, 각 유속에 따라 안정화 이후의 위상 지연값은 모두 다르게 나타났는데, 이로부터 위상 지연이 유속과 일대일 대응 관계를 가지고 있으며, 유속의 측정에 위상 지연값을 활용할 수 있음을 알 수 있다.

<92> 한편, 도시된 그래프에서 안정화 후의 위상 지연을 비교하면 평균 유속(u_{av})이 0.0mm/s에서 3.9mm/s로 증가할 때 위상 지연은 1.3°정도 증가하였으나, 3.9mm/s에서 8.3mm/s로 증가할 때 위상 지연은 약 4°정도 증가함을 알 수 있다. 따라서, 위상 지연은 유속에 직선적으로 비례하지는 않는다.

- <93> 이하에서는 도 6a, 도 6b, 도 7a 및 도 7b를 참조하여 주파수의 변화에 따른 위상 지연의 변화를 살펴본다.
- <94> 도 6a는 1Hz ~ 100Hz의 주파수 구간에서 주파수 변화에 따른 3ω 전압의 위상 지연 변화를 도시한 그래프이다. 실험에 사용된 에탄올의 유속 구간은 0.0mm/s ~ 50.0mm/s였다. 열선에 인가된 교류 전원의 전압은 약 77mV였고, 계산된 교류 성분 온도 진폭($\theta_{AC,0}$)은 평균 유속 0.0mm/s 기준으로 주파수에 따라 약 0.6 ~ 1.3℃ 범위이다.
- <95> 도 6a로부터 유속 구간에 따라 측정 감도가 가장 좋은 주파수 범위가 달라지는 것을 볼 수 있다. 도 6a를 참조하면, 저속 구간(0.0 ~ 9.6mm/s)에서는 낮은 주파수에서 유속 증가에 따른 위상 지연의 변화가 커지며, 고속 구간(16.8 ~ 46.5mm/s)에서는 높은 주파수에서 유속 증가에 따른 위상 지연의 변화가 커진다. 따라서 본 발명에 따르면 측정 유속 구간에 따라 주파수를 조절하여 넓은 유속 범위에서 높은 측정 감도의 유속 측정이 가능함을 알 수 있다.
- <96> 도 6b는 도 6a와 교류 전원의 전압을 달리하여 동일한 조건으로 주파수에 따른 위상 지연의 변화를 도시한 그래프이다. 여기서 인가된 교류 전원의 전압은 135mV였고, 이에 대응하는 교류 성분의 온도 진폭($\theta_{AC,0}$)은 평균 유속 0.0mm/s를 기준으로 주파수에 따라 2.0 ~ 4.0℃ 범위이다.
- <97> 도 6b를 참조하면, 교류 전원의 전압이 도 6a와는 달라졌음에도 불구하고 주파수에 따른 위상 지연의 변화가 도 6a에 도시된 그래프가 갖는 경향과 거의 동일함을 알 수 있다. 즉 본 발명에 따르면, 열선의 온도 조건이 변화하였음에도 불구하고 동일한 주파수, 동일한 유속 조건에서는 동일한 위상 지연 특성을 나타내며, 유속 측정 감도가 열선의 온도나 열발생량에 의존하지 않는다. 이것은 본 발명의 유속 측정 방법이 주파수 공간에서의 위상 지연을 측정하는 것이기 때문이다. 따라서, 본 발명의 유속 측정 장치는 온도 변화가 있는 유동장의 측정에 적

합하다. 또한, 상기 실험에서 예시된 바와 같이 열선의 교류 성분 온도 진폭은 수 ℃ 이하로 매우 낮으므로 유동 매질을 가열할 염려가 없다.

<98> 한편, 도 7a 및 도 7b는 각각 도 6a 및 도 6b과 동일한 조건에서 측정된 3ω 전압의 진폭 변화를 도시한 그래프이다. 각 그래프에서 y축은 아래의 수식에 의해 3ω 전압의 진폭($V_{3\omega,0}$)을 무차원화한 값($V_{3\omega,0}^*$)이다.

<99>

$$V_{3\omega,0}^* = \frac{V_{3\omega,0}}{V_c} = \frac{V_{3\omega,0}}{I_0 R_c} = \frac{V_{3\omega,0}}{I_0 R_{h,b} \alpha T_c}$$

$$= \frac{V_{3\omega,0}}{I_0 R_{h,b} \alpha \cdot \frac{\dot{q}_0}{k/r^2}} = \frac{2\pi^2 k r^2}{R_{h,b} \alpha \gamma} \cdot \frac{V_{3\omega,0}}{I_0^3}$$

【수학식 7】

<100> 도 7a 및 도 7b를 비교하면, 열선에 가해진 전압에 무관하게 무차원화된 3ω 전압 진폭은 거의 동일한 값을 가짐을 알 수 있다. 또한 두 그래프로부터 3ω 전압의 진폭이 주파수가 낮은 구간에서는 유속이 증가함에 따라 급격히 작아지는 반면, 주파수가 높아짐에 따라 유속의 증가에 무관하게 거의 일정해지는 경향성을 가짐을 알 수 있다.

<101> 도 8a는 도 6b의 점선을 따른 4Hz($\theta_{AC,0}=3.6^\circ\text{C}$)와 10Hz($\theta_{AC,0}=3.0^\circ\text{C}$)에서의 위상 지연과 평균 유속을 맵핑한 그래프이다. 여기서, y축은 각 유속에서의 위상 지연과 평균 유속 0.0mm/s에서의 위상 지연 사이의 위상 지연차(phase lag difference)를 나타낸다.

<102> 유속의 변화에 따른 위상 지연의 변화가 클수록 유속 측정 감도가 높다는 점을 고려하면, 평균 유속 0.0 ~ 5.0mm/s 구간에서는 주파수가 4Hz인 경우에 측정 감도가 높음을 알 수 있으며, 평균 유속이 7mm/s이상인 경우에는 10Hz에서 측정 감도가 더 좋음을 알 수 있다.

<103> 도 8b는 도 8a에 도시된 B 부분, 즉 평균 유속 0.0 ~ 2.0mm/s 구간을 확대 도시한 그래프이다.

<104> 도 8b를 참조하면, 평균 유속 약 1.4mm/s ~ 1.5mm/s 구간에서 약 0.1 mm/s의 유속 변화에 약 0.1° 정도의 위상 지연의 변화가 발생하는 것을 알 수 있다. 현재 상용화된 록인 증폭기가 0.001°의 위상 측정 정밀도를 가지고 있으므로, 본 발명의 유속 측정 장치에 의해 수 μ m 단위의 유속 변화까지도 측정 가능함을 알 수 있다.

<105> 도 8a에 도시된 바와 같은 위상 지연-유속 맵핑 데이터는 본 발명의 유속 측정 장치(100)내의 기억 수단(154)에 저장되어 유속 측정에 활용될 수 있다. 상기 기억 수단(154)에 저장된 데이터 집합들은 유동 매질의 종류 및 교류 전원 주파수 등에 따라 분류되어 저장될 수 있다. 상기 마이크로 프로세서(152)는 상기 신호 처리 수단(140) 또는 교류 전원(110)으로부터의 교류 전원 주파수 및 신호 처리 수단(140)으로부터의 위상 지연값을 입력 받아 상기 기억 수단에 저장된 데이터로부터 대응하는 유속을 검색하여 이를 출력할 수 있다. 또한, 저장된 데이터로부터 상기 위상 지연값이 다른 주파수에서 보다 정밀하게 측정될 수 있다고 판단되는 경우에는 상기 교류 전원(110)의 전원 주파수를 제어할 수도 있다. 상기 기억 수단(154)에 저장되는 데이터의 간격은 상기 신호 처리 수단(140)의 측정 정밀도를 고려하여 정해질 수 있다. 물론, 상기 마이크로 프로세서(150)가 저장된 데이터로부터 보간법 등의 적절한 수학적 알고리즘을 사용하여 유동의 속도를 산출할 수도 있을 것이다.

【발명의 효과】

<106> 본 발명의 교류방식 열선 유속 측정법은 다음과 같은 장점들을 가지고 있다. 첫 번째로, 가열 주파수에서의 위상 지연을 측정하기 때문에 주변에서 발생하는 모든 다른 주파수의 노이즈는 능동적으로 제거될 수 있다. 따라서, 유체의 물성치에 큰 영향을 미칠 정도로 주위의 온도변화가 매우 심해서 열유동장의 특성 자체가 변하지 않는 한, 센서가 주변 온도의 변화에 거의 영향을 받지 않는다.

- <107> 두 번째로, 주파수 공간에서의 유속을 측정하기 때문에 측정 정밀도가 열선의 온도나 열선의 열발생량에 의존하지 않는다. 따라서 위상 측정에 필요한 신호를 발생시킬 수 있는 최소한의 열량으로도 유속을 측정할 수 있으며, 센서를 작동시키는 데 필요한 에너지 소모가 적고 유속 측정으로 인해 유체가 가열되는 단점을 최소화할 수 있다.
- <108> 세 번째는 디지털 신호 처리 기술의 발달로 위상을 정밀한 측정이 가능하기 때문에, 매우 느린 유동의 속도까지 높은 정밀도로 정확하게 측정할 수 있다.
- <109> 또한 공급해주는 교류 전원의 주파수를 변화시킴에 따라, 넓은 범위에 걸쳐서 쉽게 유속 측정이 가능하고, 유동 내에 미소한 열선의 장착만으로 유속이 측정이 가능하기 때문에 구조가 간단하여 미소 유체 시스템에 적용시키기도 용이하다.
- <110> 이와 같은 장점으로 인해, 본 발명의 교류 방식 유속 측정법은 온도 변화가 있는 유동장의 유속 측정이나 마이크로 시스템에서의 유속 또는 유량의 정밀 측정에 적합하다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

유동 내에 삽입되는 저항 발열체;

상기 저항 발열체를 주기적으로 가열하기 위해 상기 저항 발열체에 공급되는 제1 주파수의 교류 전원;

상기 교류 전원에 의해 상기 저항 발열체에서 일어나는 온도 변화와 관련되어 상기 저항 발열체에서 발생하는 제1 신호를 검출하여, 상기 교류 전원 전압에 대한 상기 제1 신호의 위상 지연을 구하는 신호 처리 수단; 및

상기 위상 지연으로부터 상기 유동의 속도를 계산하는 연산 수단을 포함하는 유속 측정 장치.

【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 발열체 양단의 전압 신호를 검출하기 위한 제1 검출 수단을 더 포함하고,

상기 신호 처리 수단은 상기 제1 검출 수단의 출력 신호로부터 상기 제1 신호를 검출하는 것인 유속 측정 장치.

【청구항 3】

제2항에 있어서,

상기 교류 전원의 공급 선로상에 배치되어 상기 저항 발열체의 저항과 동일하도록 설정되는 가변 저항; 및

상기 가변 저항 양단의 전압 신호를 검출하기 위한 제2 검출 수단을 더 포함하고,

상기 신호 처리 수단은 상기 제1 검출 수단의 출력 신호에 상기 제2 검출 수단의 출력 신호를 차감한 신호로부터 상기 제1 신호를 검출하는 것인 유속 측정 장치.

【청구항 4】

제1항에 있어서,

상기 제1 신호는 제2 주파수를 갖고 상기 제2 주파수는 상기 교류 전원의 상기 제1 주파수의 2배 또는 3배수인 것인 유속 측정 장치.

【청구항 5】

제1항에 있어서,

상기 저항 발열체는 금속 또는 반도체 소자인 것인 유속 측정 장치.

【청구항 6】

제1항에 있어서,

상기 연산 수단은

상기 제1 신호와 상기 교류 전원간의 위상 지연 데이터와 상기 위상 지연에 대응하는 유속 데이터가 맵핑되어 저장되는 기억 수단; 및

상기 신호 처리 수단에서 구해진 위상 지연으로부터 상기 기억 수단에 저장된 위상 지연 및 유속과의 대응 관계에 기초하여 상기 유동의 유속을 계산하는 마이크로 프로세서를 포함하는 것인 유속 측정 장치.

【청구항 7】

제6항에 있어서,

상기 마이크로 프로세서는 상기 교류 전원의 주파수를 제어하는 것인 유속 측정 장치.

【청구항 8】

제1항에 있어서,

상기 신호 처리 수단은 특인 증폭기를 포함하는 것인 유속 측정 장치.

【청구항 9】

(a) 소정 유속의 유동내에 저항 발열체를 제공하는 단계;

(b) 상기 저항 발열체에 제1 주파수의 교류 전원을 공급하는 단계;

(c) 상기 교류 전원에 의해 상기 저항 발열체에서 일어나는 온도 변화와 관련하여 상기 저항 발열체에서 발생하는 제1 신호를 검출하는 단계;

(d) 상기 교류 전원에 대한 상기 제1 신호의 위상 지연을 구하는 단계;

(e) 상기 유동의 유속을 측정하는 단계;

(f) 유동의 유속을 변화시키는 단계;

(g) 상기 단계 (b) 내지 단계 (e)를 복수회 반복하는 단계; 및

(h) 측정된 유동의 유속과 상기 제1 신호의 위상 지연을 맵핑하는 단계를 포함하는 위상 지연과 유속 맵핑 방법.

【청구항 10】

제9항에 있어서,

상기 제1 주파수를 변화시켜 상기 단계 (b) 내지 단계 (g)를 반복 수행하는 것인 위상 지연과 유속 맵핑 방법.

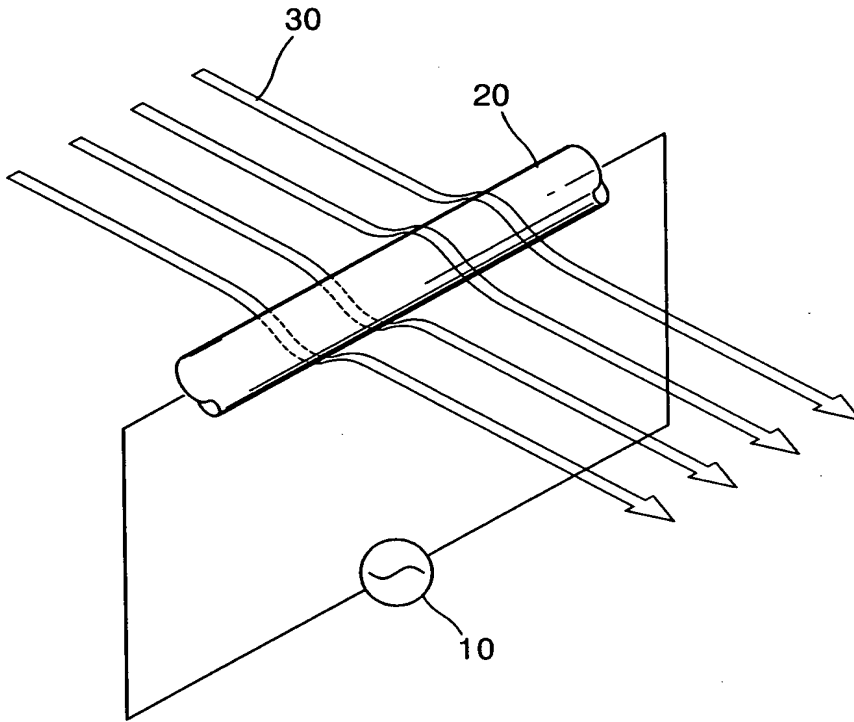
【청구항 11】

제9항에 있어서,

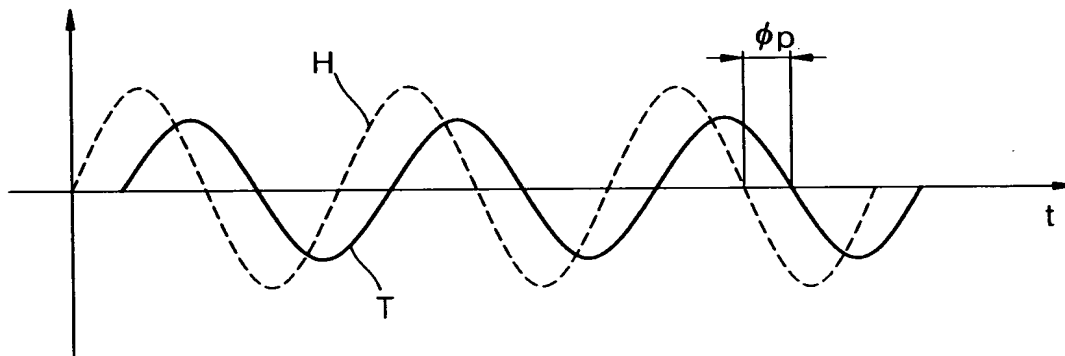
상기 제1 신호는 제2 주파수를 가지며, 상기 제2 주파수는 상기 제1 주파수의 3배수인 것인 위상 지연과 유속 맵핑 방법.

【도면】

【도 1a】

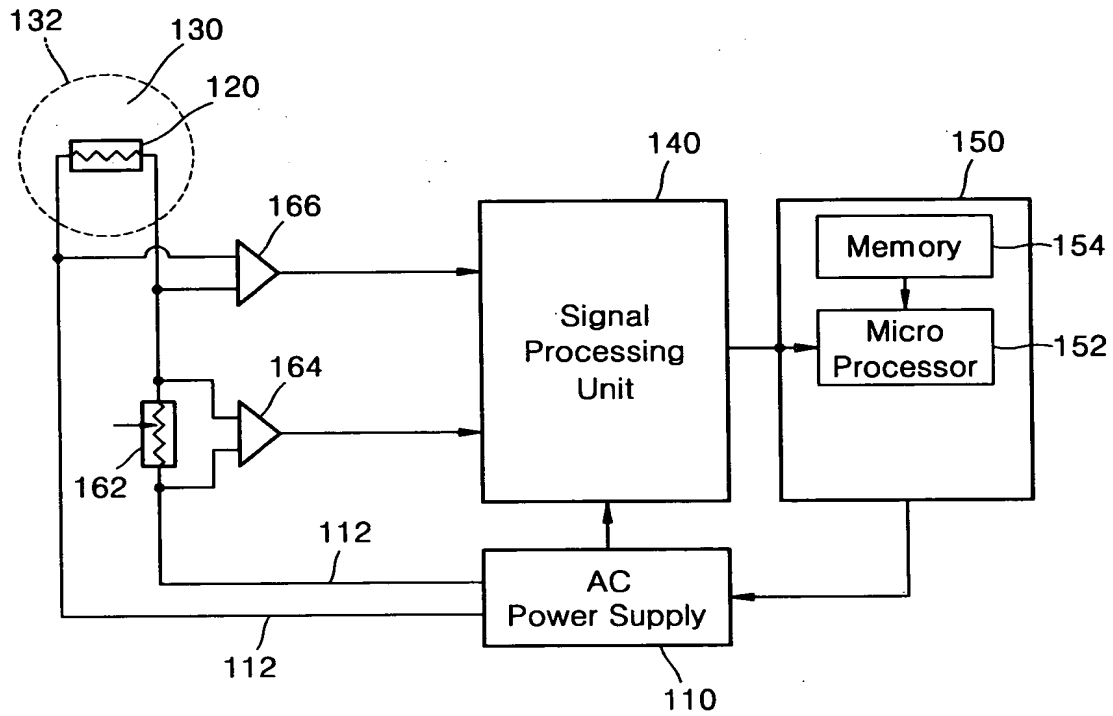


【도 1b】



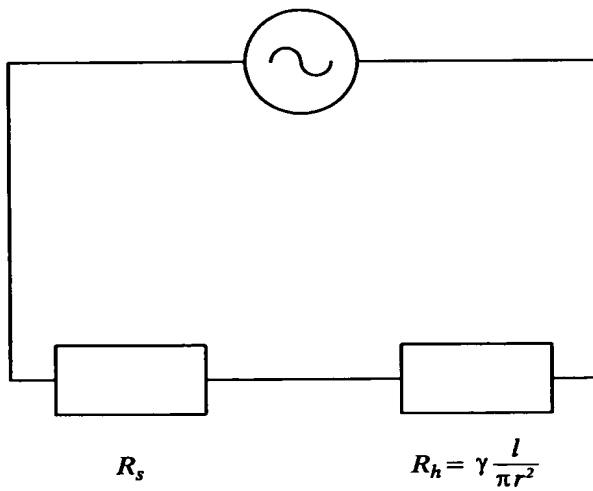
【도 2】

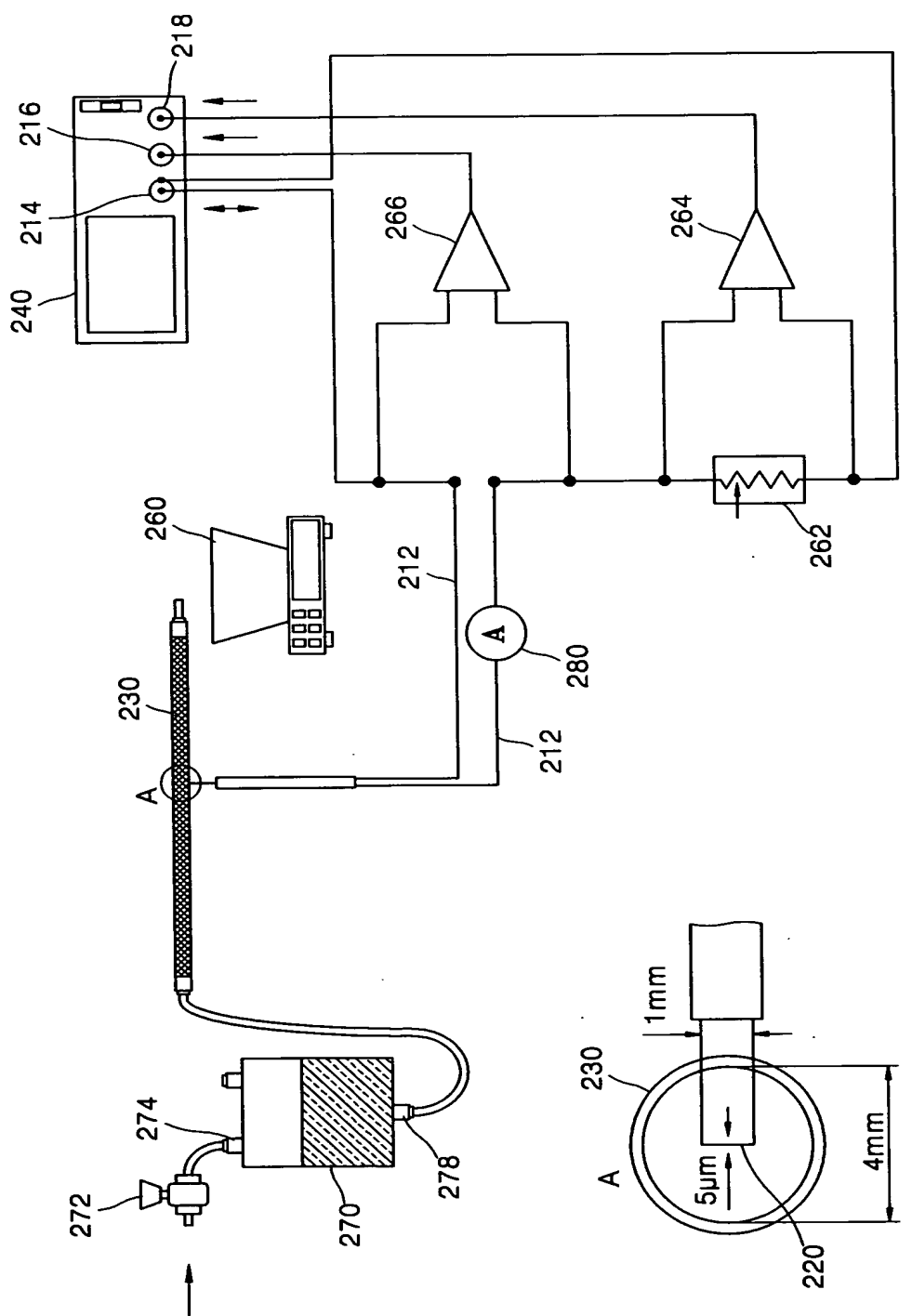
100



【도 3】

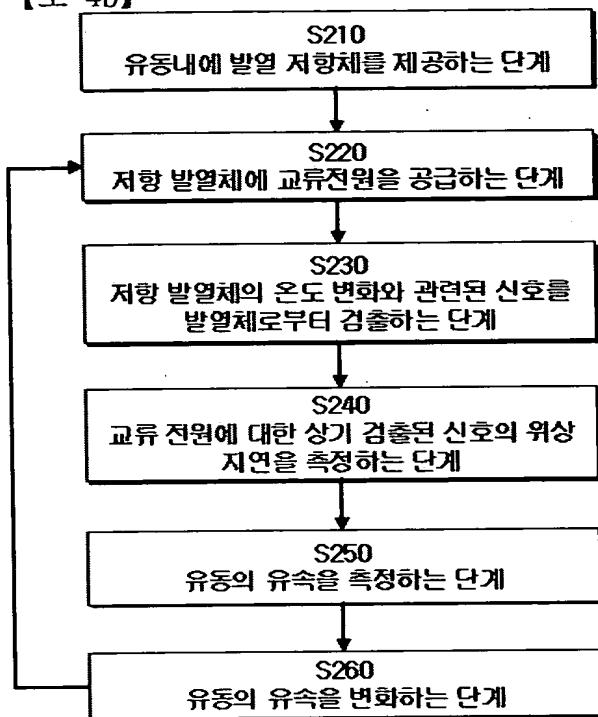
$$V = V_0 \sin \omega t$$



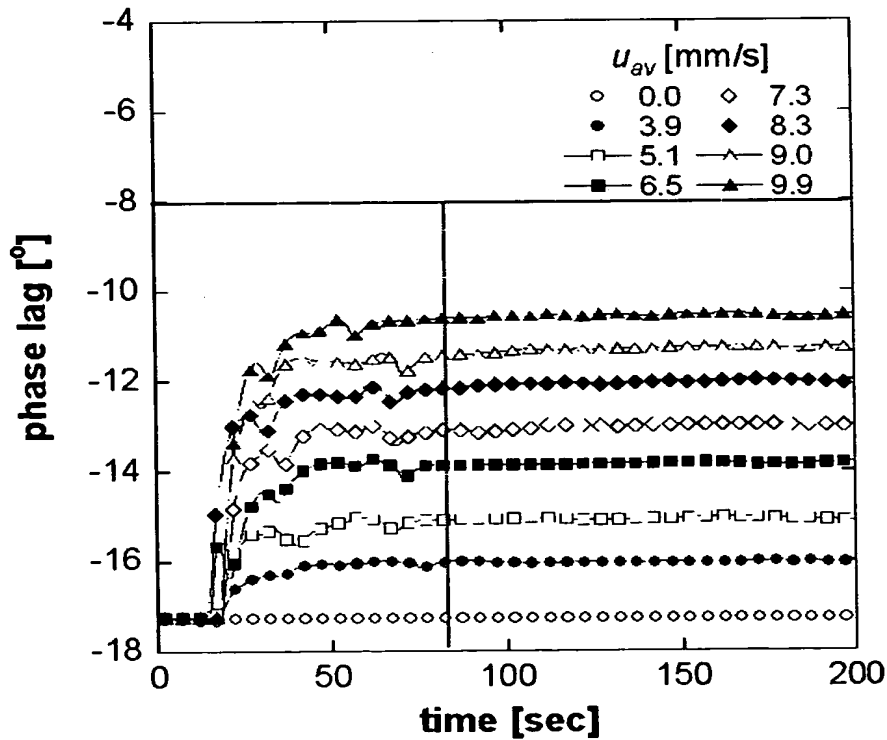


【 4a 5】

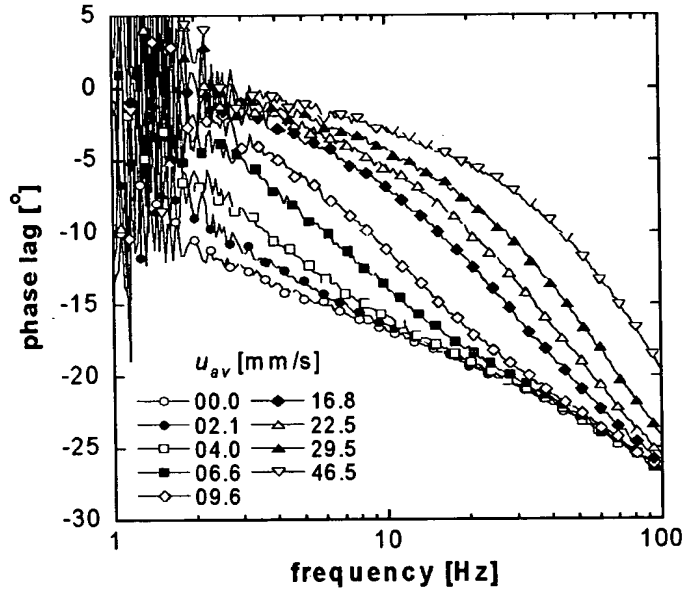
【도 4b】



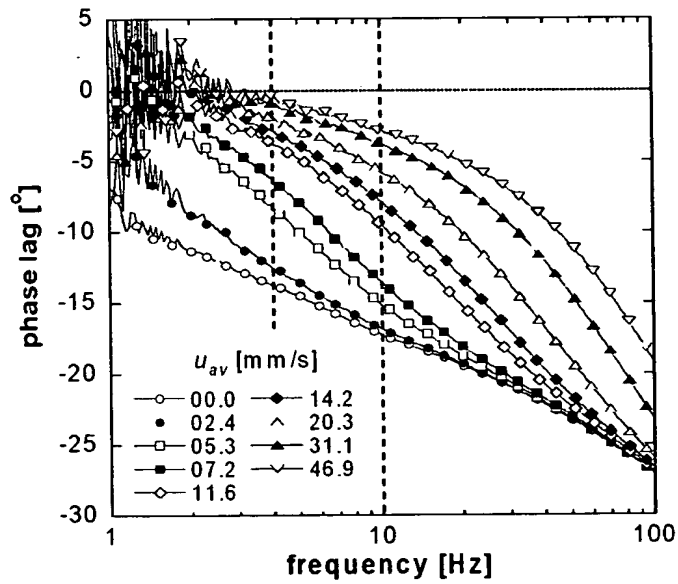
【도 5】



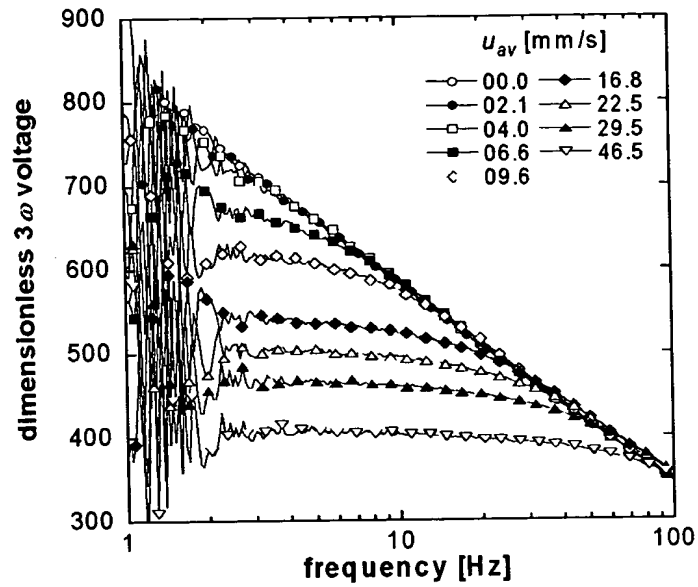
【도 6a】



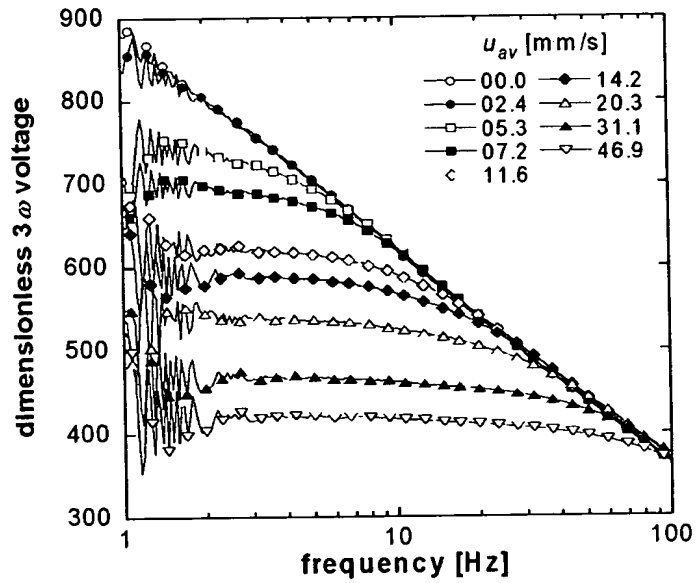
【도 6b】



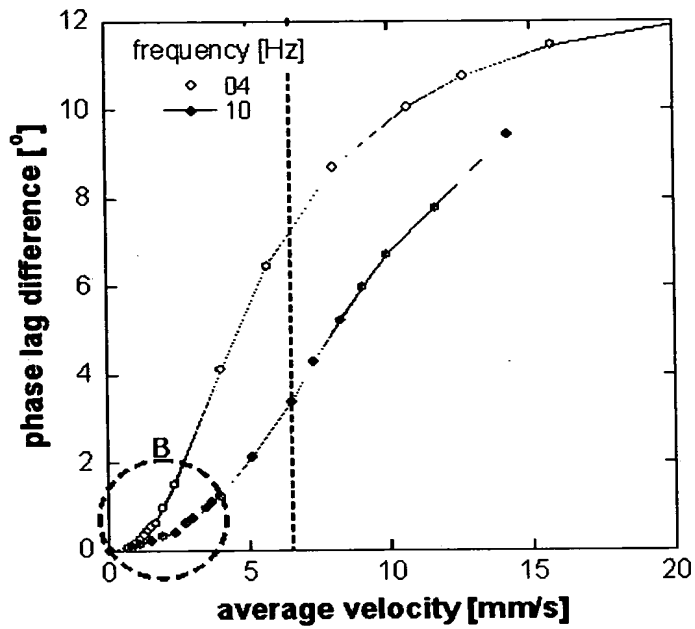
【도 7a】



【도 7b】



【도 8a】



【도 8b】

